

Explikation medizinischer Beobachtungssprachen

Karl-Heinrich Schmidt

Zusammenfassung

Am Beispiel eines neurologischen Krankheitsbildes – der multiplen Sklerose – wird zunächst gezeigt, daß die in der Medizin ausgebildete begriffliche Behandlung von Krankheitsherden (auf Bildern) des menschlichen Körpers ungeeignet ist für die Realisation wissensbasierter Systeme in der Bildverarbeitung. – In einem zweiten Schritt wird dann skizziert, mit welchen Mitteln der Mathematik und Mustererkennung die diffuse Bildbeobachtungssprache der Medizin und damit ein Gutteil radiologischen Wissens einer Explikation, die nur metrische Begriffe verwendet, unterzogen werden kann.

1. Vorbemerkung

Der Aufbau von AI-Systemen erfordert ein um so sorgfältigeres Knowledge-Engineering, je diffuser die jeweils behandelte Domäne ist. Für die begriffliche Behandlung diffusen Wissens finden sich in der Wissenschaftslehre Theorieangebote, die zwar nicht immer ein konkretes Problem lösen helfen, aber doch mindestens den Arbeiten eines Knowledge-Engineers bei der Erzeugung maschineller Modelle Namen zu geben vermögen: Die Modellierung eines 'Welt'-Ausschnittes ist zunächst und zumeist konfrontiert mit der Operationalisierung der Sprachen, die in einer Domäne für die Beschreibung einzelner Phänomene ausgebildet wurden; für Terme dieser Sprachen, deren Bedeutung unklar ist, schlug Carnap eine 'Explikation' genannte rationale Rekonstruktion vor mit der Absicht, solchen Ausdrücken "eine neue und präzise Bedeutung zu geben, um sie für eine klare und strenge Erörterung des Gegenstandsbereichs brauchbarer zu machen" ([6], p.30).

Die Theorie der Arithmetik von Russell und Frege sowie Tarskis semantische Definition der Wahrheit sind prominente Beispiele der Explikation; außerhalb von Mathematik und Logik wurden etwa Auffassungen der Zweckgerichtetheit und des adaptiven Verhaltens in der Biologie einer Explikation unterworfen (cf.[17]).

Wir zeigen nun, wie bei dem Aufbau eines wissensbasierten Systems zur Analyse einer Klasse von Bildern des menschlichen Schädels ein ganzer Sprachbereich der Medizin einer Explikation unterzogen werden kann.

Thematisch geht es im folgenden um die Übersetzung des ärztlichen Blicks in das Begriffsinstrumentarium des maschinellen Sehens. Wir behandeln die Übertragung der sprachlichen Kultur, die die Medizin zur Beschreibung der Wahrnehmung körperlicher Pathologien ausgebildet hat, in weitgehend metrisch basierte Techniken der Computer Science und begründen die Notwendigkeit einer solchen Übersetzung. All dies führen wir exemplarisch durch am Krankheitsbild der multiplen Sklerose.

2. Einleitung

Einleitend möchten wir mit Foucault (cf.[4], p.27ff) für die Medizin zwei verschiedene Räume des Pathologischen unterscheiden:

primärer	'	sekundärer
Raum des	'	Raum des
Pathologischen	'	Pathologischen

Fig. 1

Der primäre Raum des Pathologischen ist die von der medizinischen Nologie - dem Zweig der Pathologie, der Krankheiten systematisch als Arten beschreibt - erzeugte Menge von Klassifikationen der in der Medizin akzeptierten Krankheitsbilder. Wissen, das diesem primären Raum entnommen werden kann, ist für einen Rechner stets eine eindimensionale Eingabe; es enthält keine Bilder.

Wir behandeln nun den sekundären Raum des Pathologischen: womit nichts anderes gemeint ist als der Sitz der Krankheit im Körper (Anm.1). Dieser Raum wird, sofern er nicht textlich beschrieben sein soll, einem Rechner durch Bilder präsentiert, deren maschinelle Verarbeitung sich

hinsichtlich ihrer Performanz am Vermögen ärztlicher Wahrnehmung messen lassen muß. Maschinelle Diagnostik, die auch Bilder einbezieht, ist daher konfrontiert mit Traditionen des ärztlichen Blicks entweder auf geöffnete Körper (etwa in der Pathologie) oder auf Bilder vom Körperinneren, die durch Ausnutzen physikalischer Effekte erzeugt werden (etwa in der Radiologie): Die ärztliche Diagnostik, die den Sitz einer Krankheit im Körper einbezieht, basiert auf der Geschichte dieser medizinischen Wahrnehmung.

Diese Tradition hat nun eine Sprache hervorgebracht, die für die Bildverarbeitung mit einem Rechner ungeeignet ist, wie wir im folgenden zeigen werden; insbesondere werden wir sehen, daß es in der Bildverarbeitung ausgeschlossen ist, vorliegende medizinische Daten bei der Übersetzung aus der Welt der Medizin in die Welt der Informatik einfach nur neu zu konzeptualisieren, ohne den Datentyp selbst zu verändern: Die begriffliche Behandlung der Lokalisation eines Krankheitsherdes in der Medizin ist schlechthin ungeeignet für eine Einarbeitung in einen Rechner, so daß diese auf große Teile der Tradition medizinischer Wahrnehmung verzichten und sie neu explizieren muß.

Die diese These im folgenden begründende Argumentation ist wie folgt aufgebaut:

In (3.1) und (3.2) beschreiben wir die medizinische Tradition der Behandlung des sekundären Raumes des Pathologischen anhand der Analyse zweier Texte zur multiplen Sklerose. Zunächst untersuchen wir in der ersten vollständigen Beschreibung dieser Erkrankung die Prädizierungen, die die Krankheitsherde beschreiben sollen (3.1). Darauf untersuchen wir einen neueren medizinischen Text, in dem kernspintomographisch erzeugte Schädelbilder von an multipler Sklerose erkrankten Patienten ausgewertet werden (3.2).

Anschließend skizzieren wir in (4) die Durchführung einer Explikation der in (3.1) und (3.2) vorgestellten Sprache.

Im ganzen Text wird nicht auf Fragen der Benutzeroberfläche von AI-Systemen eingegangen.

3.1

Im Jahre 1863 lieferte der 'pathologische Prosector' Eduard Rindfleisch die erste pathologische Beschreibung der multiplen Sklerose (cf.[2],p.319) unter dem Titel:

Histologisches Detail zu der grauen Degeneration von Gehirn und Rückenmark. (Zugleich ein Beitrag zu der Lehre von der Entstehung und Verwandlung der Zelle.)

Von Dr. Eduard Rindfleisch,
pathologischem Prosector in Zürich.

(Hierzu Taf. XI. Fig. 5—7.)

Fig. 2

Wir zitieren zunächst einige einen Eindruck von der Sprache des Textes gebende Passagen und untersuchen dann die Prädizierungen, die pathologische Orte im Körper (Läsionen) erhalten (aus [12], p.474ff):

Unter der Symptomengruppe der sogenannten Tabes dorsalis war um Pfingsten dieses Jahres im hiesigen alten Spital ein Mann gestorben; bei der Section ergab sich, dass Gehirn und Rückenmark im hohen Maasse jene Form chronischer Entzündung darboten, welche am häufigsten mit dem Namen der grauen Degeneration bezeichnet wird. In den Vordersträngen des Rückenmarkes, am Fornix, Corpus callosum, Centrum Vieussensii war die Continuität des Marklagers durch eine grosse Anzahl hirsekorn- bis erbsengrosser, meist länglicher Heerde unterbrochen, welche die verschiedensten Stadien des fraglichen Prozesses, von dem Zustande der Überwallenden, grauröthlichen Pulpa bis zu der lückenartig erscheinenden, grauen Schwielen darboten...

Wenn man die frischveränderten Partien im Marklager des Gehirnes aufmerksam betrachtet, so gewahrt man schon mit blossem Auge in der Mitte jedes einzelnen Heerdes einen rothen Punkt oder Strich, das quer oder schräg durchgeschnittene Lumen eines mit Blut überfüllten Gefässstämmchens; am Rückenmark stellen sich die ersten Veränderungen so dar, dass die grauen Heerde (auf dem Querschnitt) keilförmig von der Peripherie in die Substanz der Vorderstränge eingreifen...

Die feinen Fasern bilden einen dichten, elastischen Filz; in diesem erblickt man eine grosse Anzahl einzelner Kerne und einkerniger Zellen neben jenen kleinen Gruppen von Kernen, welche wir aus der Theilung eines einzelnen Kernes hervorgehen sahen, und welche zum Theil an einer länglichen und eingeschnürten Gestalt erkennen lassen, dass sich der Theilungsvorgang an ihnen noch immer wiederholt...

Das Ganze ist wie ein Schwamm getränkt von einer schleimigen, in Wasser etwas gerinnenden Flüssigkeit, welche eine gewisse Menge von Kernen und kleinen einkernigen Zellen enthält, die ebenfalls als Abkömmlinge der Neurogliakerne zu betrachten sind.

Fig. 3

Der primäre Raum des Pathologischen wird in dieser Arbeit überhaupt nur einmal angesprochen; nur in der in Fig.3 auch wiedergegebenen Einleitung des ganzen Textes erfolgt eine Zuordnung des zur Untersuchung anstehenden Körpers zu einer nosographischen Klasse: "Unter der Symptomengruppe der sogenannten Tabes dorsalis war um Pfingsten dieses Jahres im hiesigen Spital ein Mann gestorben" (p.474) - das ist alles, was an Klassifikation im ganzen Papier erfolgt; gleich darauf geht es an die Sektion des Körpers, die an keiner Stelle auf nosographisches Wissen zurückgreift.

Die Untersuchung wird gegliedert durch die anatomischen Verhältnisse. Wir zeigen, daß diese konkrete und individuelle Differenzierungen der erkrankten Bereiche des Körpers durch Einsatz der folgenden sprachlichen Mittel ermöglicht:

- (i) Die zur Beschreibung herangezogenen Vergleiche finden ihre Vergleichsobjekte zumeist in den Wahrnehmungsgegenständen des Alltags;
- (ii) durch Sektion freigelegte Substanzen erfahren häufig synästhetische Beschreibungen;
- (iii) es gibt keine Coderegeln gegen den Einsatz des Tastsinnes.

Wir betrachten alle in dieser Arbeit vorkommenden vergleichsbildenden Adjektive und Adverbien pathologischer Auffälligkeiten, wobei 'vergleichsbildend' meint, daß sich das jeweilige Wort im zugehörigen Satz durch einen mit einer Vergleichspartikel eingeleiteten oder ein Vergleichsverb (ähneln, etc.) enthaltenden Satzteil ersetzen läßt. Im Körper finden sich:

1. - "hirsekorn- bis erbsengroße ()... Herde" (p.474)
2. - "lückenartig erscheinende()" Schwielen (p.474)
3. - "keilförmig" in die Substanz der Vorderstränge eingreifende Herde (p.475)
4. - "faserige" Substanzen (p.475, 479, 480)
5. - "käsige() Knoten" (p.477)
6. - "in fettiger Entartung" begriffene Ganglienzellen (p.478)
7. - "zickzackförmige oder spiralig gebogen(e)" Fasern (p.478)
8. - "schleimige()" Flüssigkeit (p.481)
9. - "rundliche Anhäufungen einer gallertigen Substanz" (p.481f)
- 10.- "narbige Verdichtung" von Amyloidkörpern (p.482)

Offenbar werden der Seh- und der Tastsinn gleichwertig verwendet zur Qualifikation von Sinnesdaten (cf.[7],p.29f): Definitiv auf dem Sehsinn bezogen sind nur die Vergleichsbildungen in 1.,2.,3. und 7., alle anderen sind entweder dem Gesichtssinn nicht eindeutig zuzuordnen oder Verknüpfungen von Tast- und Seheindrücken, also synästhetischen Charakters. Insbesondere werden damit Tastempfindungen für kommunikabel gehalten, die auch Trennungen vornehmen dürfen: Hier ist es nicht so, daß Benennungen allein entlang der Trennungen laufen, die das Sehen vornimmt.

Wir haben es hier zu tun mit einer "Wahrnehmungs- und Wissensstruktur, welche die klinische Medizin und seither jede Medizin leitet" ([4], p.179): In ihr geht es "nicht nur darum, in eindeutiger Entsprechung das Sichtbare ins Lesbare zu übersetzen und ihm mittels der Universalität einer kodifizierten Sprache Bedeutung zu verleihen, sondern darum, die Worte auf eine qualitative, möglichst konkrete und individuelle Differenzierung hin zu öffnen: daher wird die Farbe, die Konsistenz, das 'Korn' so wichtig; daher wird die Metapher der Messung vorgezogen; daher werden synästhetische Qualitäten (glatt, fettig, löcherig) ebenso geschätzt wie empirische Vergleiche und Anspielungen auf die Alltagserfahrung ([4],p.182ff).

3.2

Wir behandeln nun einen Text [5] aus dem Jahre 1985, der das Erscheinungsbild der multiple Sklerose auf Kernspintomogrammen beschreibt und dasselbe Interesse wie die soeben untersuchte Arbeit verfolgt: Auch hier möchten die Autoren den sekundären Raum der multiplen Sklerose charakterisieren - allerdings nicht anhand einer geöffneten Leiche, sondern durch Analysen von Tomogrammen wie dem in Fig. 4 abgebildeten:

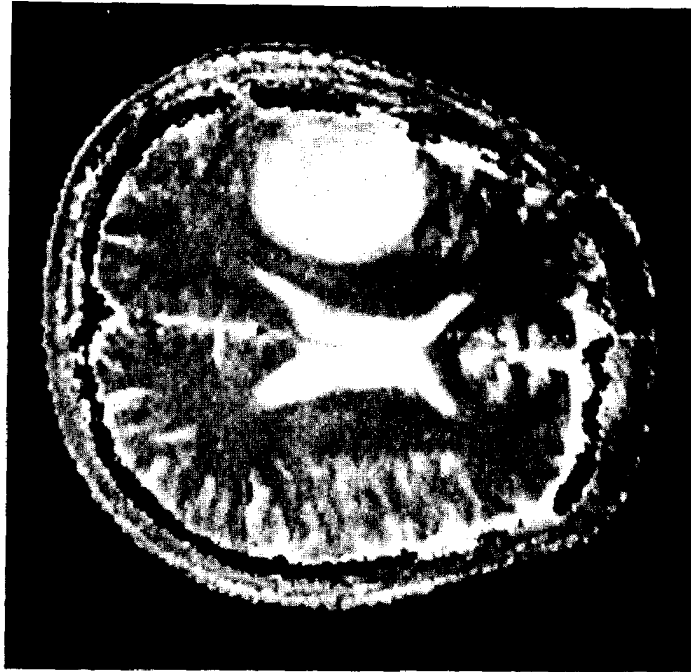


Fig. 4

Wir präsentieren zunächst eine zentrale Passage des ganzen Textes, auf die sich ein Gutteil der nachfolgenden Argumentation stützt (aus [15], p.489; es ist nicht nötig, sich in diesen Text hineinzulesen):

Tab. 1 Häufigkeit eines positiven MRT-Befundes in Abhängigkeit der Herdlokalisation bei 22 Patienten mit multipler Sklerose (ausgewertet wurden nur Läsionen mit einer Herdgröße größer als 3 mm Durchmesser).

Herdlokalisation	Anzahl der Patienten mit positivem MRT-Befund
Hirnrinde	5
Marklager	23
periventrikulär	24
infratentoriell (Kleinhirn, Hirnstamm)	10

1. Morphologie des einzelnen MS-Herdes

MS-Herde erscheinen in T₁-gewichteten Tomogrammen signalarm und in Protonendichte- oder T₂-gewichteten Aufnahmen signalintensiv im Vergleich zu den umgebenden unauffälligen Gehirnstrukturen. Die signaldifferenten Läsionen waren homogen strukturiert, d. h. daß innerhalb der MS-Herde eine gleichmäßige Verteilung der Signalintensitätswerte vorlag. Die Läsionen kamen in der Regel als rund-ovale Herde zur Abbildung, allein in periventrikulärer Position, in der die dicht beieinanderstehenden Herde zum Teil konfluieren, traten die Läsionen eher als lineare, perlschnurartig konfigurierte Läsionen in Erscheinung (s. 2.). In den SE-Aufnahmen kamen die Läsionen relativ unscharf begrenzt zur Abbildung, während sie in den IR-Tomogrammen scharf konturiert zur Darstellung kamen. Die Größe der MS-Herde war sehr variabel; von kleinsten Herden, die an der Grenze des räumlichen Auflösungsvermögens des Kernspintomographen lagen, bis hin zu einer maximalen Herdgröße von 5 cm konnten alle Herdgrößen beobachtet werden (Abb. 1 u. 2).

2. Verteilungsmuster der MS-Herde

Kernspintomographisch war ein ubiquitärer Befall des Gehirns durch MS-Herde feststellbar. Signaldifferente MS-Läsionen konnten in Rinde und Marklager des Großhirns, in periventrikulärer Lokalisation sowie in infratentorieller Position nachgewiesen werden. In Häufigkeit und Ausdehnung des MS-Befalls wiesen die vorgenannten Regionen deutliche Unterschiede auf (Tab. 1 u. 2).

Regelmäßig und am stärksten ausgeprägt war der MS-Befall in periventrikulärer Lokalisation. Der Schwerpunkt der periventrikulären MS-Manifestation betraf den Bereich angrenzend an die Vorder- und Hinterhörner (Tab. 3, Teil A). Hier beobachteten wir je nach Ausdehnung des Befalls kleine signaldifferente Läsionen, die den Vorder- und Hinterhörnern kappenförmig aufsaßen, bis hin zu großen, beerförmig konfluierenden Herden von mehreren Zentimetern im Durchmesser, die weit in das Marklager hineinreichten (Abb. 3). Im Vergleich zu den Vorder- und Hinterhörnern war der Befall angrenzend zur Pars centralis ventriculi und den Unterhörnern geringer ausgeprägt. In Abhängigkeit von der Ausdehnung des MS-Befalls konnten unterschiedliche Befallsmuster der MS-Herde voneinander unterschieden werden (Tab. 3, Teil B). So beobachteten wir bei 2 Patienten mehr einzeln stehende, gut gegeneinander abge-

Tab. 2 Verteilung von 221 MS-Läsionen nach Herdgröße und Lokalisation bei 22 MS-Patienten (periventrikulär gelegene Läsionen wurden nicht berücksichtigt).

	„großer“ Herd (Herdgröße >7 mm)	„sicherer“ Herdbefund (Herdgröße 3–7 mm)	„fraglicher“ Herdbefund (Herdgröße <3 mm)
Großhirnrinde	2	6	1
Großhirnmarklager			
L. frontalis	15	53	10
L. parietalis	8	39	5
L. occipitalis	8	19	4
L. temporalis	2	10	2
C. interna et externa, Corona radiata	0	9	4
infratentoriell			
Pons	0	7 ^a	4
Med. oblongata	0	2	2
Zerebellum	1	5 ^b	3

^a davon in 1 Fall konfluierende Herde (um den Aquädukt)

^b davon in 2 Fällen konfluierende Herde (um den IV. Ventrikel)

Tab. 3 Morphologische Muster des periventrikulären Befalls bei MS.

A) Ausdehnung des MS-Befalls von Vorder- und Hinterhörnern im Vergleich zu demjenigen der Pars centralis und der Unterhörner	
a) alleiniger Befall der Vorder- und Hinterhörner	n = 5
b) überwiegender Befall der Vorder- und Hinterhörner	n = 11
c) Ausdehnung des Befalls der Vorder- und Hinterhörner entspricht in etwa dem der Pars centralis und der Unterhörner	n = 6
d) kein Befall der Vorder- oder Hinterhörner	n = 0
B) MS-Befallsmuster im Bereich der Pars centralis ventriculi und der Unterhörner	
a) einzelne, voneinander abgrenzbare Läsionen (Einzel-läsion)	n = 2
b) rundliche, konfluierende Läsionen („Perlschnurkette“)	n = 8
c) bandförmige, periventrikuläre Signalvermehrung (Begleitsaum)	n = 7
d) kein Befall der Pars centralis oder der Unterhörner	n = 5

grenzte Läsionen, bei 8 Patienten fanden wir sehr dicht beieinanderstehende Herde, die partiell miteinander konfluieren und das Bild einer „Perlschnurkette“ ergaben (Abb. 4 u. 5). Im Gegensatz zu den vorgenannten umschriebenen, eher rundlich konfigurierten Läsionen fanden wir bei 7 Patienten eine mehr linear konfigurierte, saum- oder bandförmige Signalvermehrung, die die Pars centralis ventriculi oder die Unterhörner begleitete (Abb. 6).

Das zerebrale Marklager wies im Hinblick auf die Herdausdehnung den zweitstärksten Befall nach der periventrikulären Region auf. Hier kamen rund-ovale signaldifferente Läsionen unterschiedlicher Größe zur Darstellung (Tab. 2). Die einzelnen Marklagerherde waren gut gegeneinander abgrenzbar, häufig bereitete jedoch die Zuordnung von Läsionen zum Marklager oder zum periventrikulären Raum Schwierigkeiten. Die meisten Marklagerherde wurden in Höhe der Seitenventrikelkörper oder supraventriculär gefunden, demgegenüber wurden weniger temporale Läsionen nachgewiesen.

Wie für die obige pathologische Arbeit analysieren wir auch hier die Prädizierungen der durch multiple Sklerose (MS) erzeugten Krankheitsherde im zentralen Nervensystem (Anm.3). Die Autoren verwenden bei der visuellen Bewertung von Auffälligkeiten auf den Tomogrammen folgende Kriterien:

- (i) Zur Kennzeichnung des 'Signalverhaltens' von MS-Läsionen werden die Kriterien
 - Struktur und (1)
 - Signalintensität eingeführt; (2)
- (ii) zur Kennzeichnung der 'Morphologie' werden die Kriterien
 - Form und (3)
 - Kontur verwendet; (4)
- (iii) ferner werden MS-Herde hinsichtlich ihrer räumlichen Verteilung bewertet nach
 - anatomischer Lage sowie (5)
 - Befallsmuster und (6)
- (iv) schließlich hinsichtlich ihrer
 - Anzahl und (7)
 - Größe (Anm. 4). (8)

Die Untersuchung dieser Kriterien verläuft in drei Schritten: Im Abschnitt (3.2.1) begründen wir kurz, warum wir die Kriterien 'anatomische Lage'(5), 'Anzahl'(7), und 'Größe'(8) keiner ausführlichen Untersuchung zuführen; dann behandeln wir in (3.2.2) die Kriterien 'Form'(3) und 'Befallsmuster'(6), von denen wir zeigen, daß sie eingebunden sind in eine Tradition der Versprachlichung des sekundären Raumes des Pathologischen, die wir in der Arbeit von Rindfleisch beispielhaft demonstriert haben; schließlich behandeln wir in (3.2.3) die Merkmale 'Struktur'(1), 'Signalintensität'(2) und 'Kontur'(4), die von Radiologen eingeführt werden (können), weil sie Tomogramme mit Läsionen - und nicht Läsionen selbst - betrachten.

3.2.1

Wir verzichten auf eine weitergehende Behandlung der Kriterien

- anatomische Lage (5),
- Anzahl (7) und
- Größe (8),

da sie recht problemlos in eine maschinelle Umgebung übernommen werden können: Das Merkmal 'Anzahl' hat definitionsgemäß Zahlen als Ausprägung, mit denen ein Rechner i.a. recht gut umgehen kann: Er steht beim Zählen sicher erkannter Läsionen einem menschlichen Betrachter nicht nach; aus demselben Grunde unproblematisch ist das Kriterium 'Größe', das von den Autoren durch einen in den Tomogrammen 'mitdargestellten Meßstab' ([15], p.488) schnell mit Zahlenwerten versehen werden kann; schließlich wird die anatomische Lage durch weithin akzeptierte nomina anatomica beschrieben, die ein Rechner einfach als Zeichenkette behandeln kann (Anm.5).

3.2.2

Wir untersuchen nun die Prädizierungen genauer, die für

- das geometrische Kriterium Form (3) und
- die Aussagen über das Befallsmuster (6)

erfolgen (Anm.6).

Hinsichtlich des Merkmals Form erfahren wir in der in Fig. 5 abgebildeten Passage, daß Läsionen

- 'in der Regel rund-oval', 'rund-oval signaldifferent'(*),
- 'kappenförmig' (0),
- 'umschrieben, eher rundlich konfiguriert' (*),

zur Darstellung kommen; in Hinblick auf die Befallsmuster erscheinen Läsionen

- 'dicht beieinanderstehend' (*),
- '(zum Teil) konfluierend', 'partiell miteinander konfluierend' (*),
- 'perlschnurartig konfiguriert' (0),
- 'beetförmig konfluierend' (0),
- 'einzeln stehend, gut gegeneinander abgegrenzt' (*),
- 'linear konfiguriert' (*),
- 'saum- und bandförmig' (0),
- 'das Bild einer Perlschnurkette ergebend' (0).

Die obigen Prädizierungen lassen sich zwanglos in zwei Klassen einteilen: Die mit einem Stern (*) gekennzeichneten Zeilen beschreiben - wie genau auch immer - Formen bzw. Befallsmuster, ohne auf Vergleiche zurückzugreifen, bei den mit einem Kreis (0) gekennzeichneten Zeilen ist das Gegenteil der Fall.

Betrachten wir diesen letzten Typ: Er enthält Vergleiche mit recht alltäglichen Gegenständen - Kappen, Perlen, Beeten, Säumen, Bändern-, von denen man annehmen kann, daß ein jeder sie irgendwie kennt: Ubiquität der Vergleichspunkte ist auf jeden Fall gewährleistet.

Unter einer 'Kappe' oder einem 'Beet' kann sich nun der eine dies, der andere das vorstellen: Determinanz des Gebrauchs der Vergleichspunkte ist hier offenbar nicht in gleicher Weise gewährleistet wie deren Ubiquität. Dies hindert die Autoren nicht, diese Vergleichspunkte heranzuziehen zur Kennzeichnung ganzer Klassen von Bildern, wie die der Fig. 5 entnommene Tabelle 3B) in den Zeilen b) und c) zeigt:

Tab. 3 Morphologische Muster des periventrikulären Befalls bei MS.

B) MS-Befallsmuster im Bereich der Pars centralis ventriculi und der Unterhörner	
a) einzelne, voneinander abgrenzbare Läsionen (Einzel-läsion)	n = 2
b) rundliche, konfluierende Läsionen („Perlschnurkette“)	n = 8
c) bandförmige, periventrikuläre Signalvermehrung (Begleitsaum)	n = 7
d) kein Befall der Pars centralis oder der Unterhörner	n = 5

Fig. 6

Damit kann im klinischen Gebrauch die Gestalt eines Bildes allein mit den Worten 'Perlschnurkette' oder 'Begleitsaum' gekennzeichnet werden.

Wir erhalten damit: Die Bildbeschreibungssprache weist hier ein von ordinary language nicht zu unterscheidendes Maß an Determinanz und

Ubiquität auf. Teile dieser Bildbeschreibungssprache ('Perlschnurkette' und 'Begleitsaum') werden nicht nur als Individuennamen eines Musters, sondern zur Kennzeichnung einer ganzen Klasse von Mustern verwendet. Damit bekommen sie den Rang von Prädikaten, an denen hier die erste Arbeit geleistet wird: durch Differenzierung gegenüber anderen Klassen von Mustern und Einbettung in ein Schema (cf. Fig.6, Anm.7).

Die mangelnde Determinanz dieser Prädikate erlaubt in der Klinik ein hohes Maß an Flexibilität bei der Klassifikation von Bildern; dadurch, daß das Definiens einer Klasse unscharf formuliert wird, ist die Einordnung eines Bildes für den einzelnen Arzt erleichtert: Die Kriterien verlangen dazu nicht mehr als eine Vorstellung von einer 'Klappe' oder einem 'Beet' überhaupt. Diese muß nicht explizit gemacht werden - gerade dies ist aber der erste Schritt einer maschinellen Realisierung.

3.2.3

Von den auf p.10 genannten Kriterien behandeln wir nun die Kennzeichnung der Struktur (cf.p.10,(1)), Signalintensität (ibid.,(2)) und Konturen (ibid.,(4)) von Läsionen.

Diese Kriterien erfahren im Text folgende Ausprägungen: Signalbereiche werden als

- 'signalarm',
- 'signalintensiv im Vergleich zu umgebenden unauffälligen Hirnstrukturen' und
- 'signaldifferent (und dabei) homogen strukturiert',

Konturen als

- 'relativ unscharf begrenzt' und
- 'scharf konturiert'

bezeichnet.

Ausprägungen des Merkmals 'Signalintensität' werden also formuliert mit den Suffices '-arm', '-intensiv', '-different', wobei mit '-different' lediglich die Tatsache angesprochen wird, daß überhaupt etwas als von

seiner Umgebung verschieden erkannt werden kann. Die Verwendung der Suffices '-arm' und '-intensiv' profitiert offenbar von keinerlei Expertenwissen und ist eine feine Formulierung für die Unterscheidung zwischen hell und dunkel: Die Autoren begnügen sich also mit Ausprägungen, die ein jeder, dessen Sehkraft die Unterscheidung von Grautönen erlaubt, vornehmen kann.

Das Merkmal 'Struktur' erhält nur die Ausprägung 'homogen', die in keiner Weise operationalisiert wird.

Schließlich begnügen sich die Autoren auch bei dem Merkmal 'Kontur' mit den Ausprägungen 'scharf' - 'relativ unscharf', denen man nicht ansieht, daß sie von Experten für die Bewertung klinischer Bilder - : Radiologen - vorgenommen wurden.

Alle Ausprägungen für die drei zuletzt diskutierten visuellen Beschreibungskriterien unterscheiden sich - bis auf Formulierungen - also nicht von Bewertungen, die auch ohne radiologische Erfahrung vorgenommen werden können.

Dieser Sachverhalt muß nun vor dem Hintergrund der Tatsache gesehen werden, daß Grauwertskalen, die metrische Ausprägungen der Merkmale 'Struktur'(1), 'Signalintensität' (2), und 'Kontur'(4) erlauben, vorliegen und von Radiologen ohne Mühe in ihr Betriebswissen importiert werden können: Für jedes Tomogramm ist eine numerische Grauwertskala verfügbar (cf.Fig.4).

Ohne weitere Maßnahmen könnte nun der Signalintensität eines jeden Bildpunktes ein Zahlenwert zugeordnet werden: so daß man etwa für ganze Bereiche eines Bildes in metrischen Begriffen formulieren könnte, wie 'hell', wie 'dunkel' oder wie 'homogen' die Grauwertverteilung ist und wie 'scharf' (:etwa als Differenz von Grauwerten benachbarter Bildpunkte) Konturen sind. Die einzige Leistung, die dazu von Radiologen erbracht werden müßte, wäre ein Ablesen von Skalen - aber dies geschieht in keinem Papier, das Kernspintomogramme von Patienten, die an multiple Sklerose erkrankt sind, zum Thema hat [1],[8]-[11],[13],[15],[16],[19]).

Eine Metrisierung medizinischer Beobachtungssprache wird also auch bei Kriterien der Bildbewertung, die nicht aus der klinischen Anatomie und ihrer in (3.1) beispielhaft skizzierten Sprache hervorgegangen sein

können (wie die Beurteilung von Konturen und Signalverteilungen auf Kernspintomogrammen), selbst dann nicht vollzogen, wenn der Schritt zur Verwendung metrischer Begriffe ganz einfach ist.

Fassen wir zusammen: In diesem Kapitel haben wir die Sprache untersucht, die Mediziner bei der Behandlung des sekundären Raumes des Pathologischen benutzen: Wir konnten dabei für die Wahrnehmung von Formen und Mustern eine Tradition nachzeichnen, deren Sprache viele Vergleichsbildungen benutzt und deren Vergleichsgegenstände keine von ordinary language unterscheidbare Uniformität und Determinanz zeigen; für die Wahrnehmung von Merkmalen, die speziell Tomogrammen zukommen (Signalwerte, Struktur, Kontur...), haben wir Ausprägungen gefunden, die sich vom 'naiven' Sprachgebrauch höchstens der Formulierung nach, nicht aber sachlich unterscheiden. Damit ist die sprachliche Behandlung des sekundären Raumes des Pathologischen in der Medizin nicht geeignet als Grundlage eines maschinellen Systems zur Analyse medizinischer Bilder.

4

In diesem Abschnitt beschreiben wir, mit welchen -relativ einfachen - Mitteln eine Explikation der in (3) gekennzeichneten diffusen Beobachtungssprache durchgeführt werden kann. Technische Sachverhalte werden dabei - zumindest der Absicht nach - möglichst vollständig und leserlich eingeführt, aber auch nur soweit, wie es für eine Behandlung des Themas erforderlich ist.

Fast stets gilt für Bilder als Gegenstand einer algorithmischen Bearbeitung auf einem Rechner, daß mit ihnen sehr große Datenmengen anfallen.

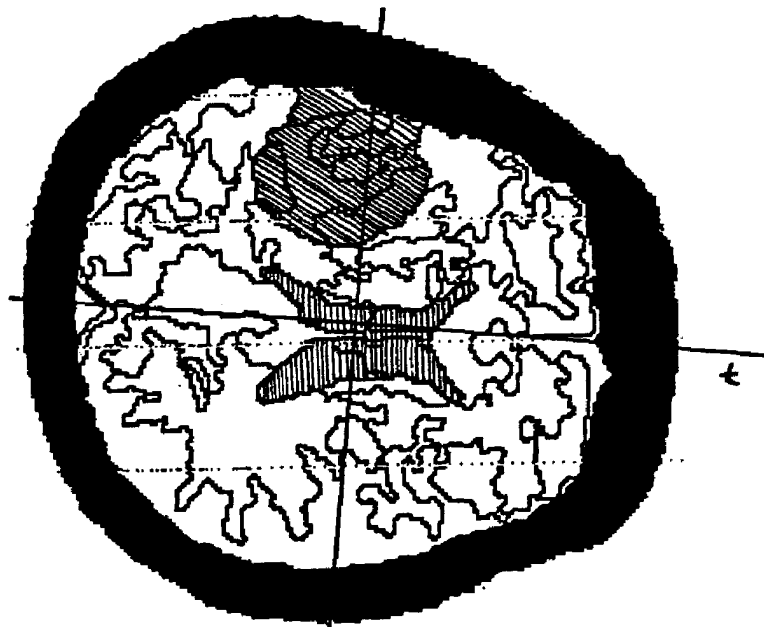
Um dieses Komplexitätsproblem aufzufangen, geschieht bei der Bildinterpretation stets dasselbe: Man versucht, die bei einem Bild anfallenden Datenmengen nach 'entscheidenden' Merkmalen zu klassifizieren; deshalb haben "die Verfahren, die auf digitalisierte Bilddaten angewendet werden, ... letztlich alle die Zielsetzung, den Bildinhalt für den menschlichen Betrachter einprägsamer darzustellen" ([5], p. 7). 'Einprägsame' Darstellung meint dabei auch die Strukturierung des Bildinhaltes durch eine für den menschlichen Beobachter überschaubare Anzahl von Objekten. Dies geschieht im allgemeinen dadurch, daß man

einzelne Bildpunkte nach vorgegebenen Kriterien relationiert, welche man dadurch erhält, daß man Vorwissen über den Bildinhalt (etwa "Der Patient hat multiple Sklerose und in dem von ihm angefertigten Tomogramm müssen helle Flecken sein") oder Wissen über die Bilderzeugung ("Das vorliegende Bild ist ein Photo, ein Computertomogramm oder ein Ultraschallbild", etc.) verwendet.

Kriterien, nach denen Bildpunkte auf einem Kernspintomogramm wie dem in Fig. 4 abgebildeten relationiert werden können, liefert etwa das Wissen, daß die Helligkeit (der Grauwert) eines jeden Bildpunktes abhängt von bekannten und kontrollierbaren Parametern.

Die Erzeugung einer kleinen Anzahl relevanter Bildobjekte durch Zusammenfassung von Bildpunkten ergibt sich bei diesen Voraussetzungen aus der Relationierung einander benachbarter Bildpunkte, die hinsichtlich ihrer Parameterverteilung Gemeinsamkeiten aufweisen: Man versucht, einen Bildpunkt P und einen seiner Nachbarn P' genau dann in einen Bereich (eine Klasse) 'ähnlicher' Punkte zu bringen, wenn ihre Parameterwerte sich nicht 'zu sehr' voneinander unterscheiden.

Auf diese Art und Weise läßt sich das Bild in Fig. 4 etwa wie folgt segmentieren (Anm.8):






Es ist durch  der extrakranielle Bereich,
 ein Tumorbereich,
 das (anatomisch zentrale) Ventrikelsystem
 gekennzeichnet.

Fig. 7

Wir veranschaulichen uns nun, wie durch 'übliche' Mathematik Segmente eines solchen Bildes und damit anatomische Regionen beschrieben werden können.

Wir skizzieren zunächst, wie die in (3.2) behandelten Kriterien Lage, Form und Größe einer Region maschinell realisiert werden können.

Die relative Lage einer Region ist eindeutig bestimmt durch die Angabe ihrer Nachbarregionen; es ist also sinnvoll, auf der Menge der Regionen die Relation 'Benachbart' in folgender Weise einzuführen: Jeder Region des Bildes ordnet man ein Symbol zu; dann erklärt man für zwei Symbole die zweistellige Relation 'Benachbart' für gültig, wenn die von ihnen repräsentierten Regionen im anschaulichen Sinne benachbart sind. Daraus ergibt sich dann eine Deklaration von wahren Sachverhalten, die für die folgende Konfiguration beispielhaft angegeben ist:



Benachbart (M, B_1) .
 Benachbart (M, B_2) .
 Benachbart (M, B_3) .
 Benachbart (M, B_4) .
 Benachbart (B_1, B_2) .
 Benachbart (B_2, B_3) .
 Benachbart (B_3, B_4) .
 Benachbart (B_4, B_1) .

Regionen: M, B_1, B_2, B_3, B_4

Fig. 8

Durch eine solche Menge von Sätzen können relative Ortsbeschreibungen, die noch keine Koordinatensysteme und keine metrische Begriffsbildung voraussetzen, realisiert worden.

Mit der Festlegung eines rotations- und lageinvarianten Koordinatensystems schafft man sich nun über relative Beschreibungen hinausgehend die Möglichkeit, die Lage eines Bildelementes (hier: einer Region) metrisch auszuzeichnen.

Ein den anatomischen Verhältnissen entsprechendes Koordinatensystem läßt sich etwa auf folgende Art und Weise gewinnen (c.f.[18]), p.200): Die äußere Begrenzung eines Schädelchnittes betrachtet man als Begrenzung eines Rotationskörpers; für einen vorgegebenen Ursprung 0 (Anm.9) berechnet man dann die Achse t mit minimalem Trägheitsmoment durch 0, wodurch man das in Fig. 7 eingezeichnete Achsenkreuz erhält. Damit hat jede Region des Segmentbildes - also auch jede anatomische Region - ihre mit Mitteln der euklidischen Geometrie eindeutig charakterisierbare Lage.

In dem nun konstituierten zweidimensionalen euklidischen Raum ist eine Beschreibung von Formen durch Begriffsbildungen der mathematischen Analysis (e.c. durch Fourierkoeffizienten) leicht durchzuführen.

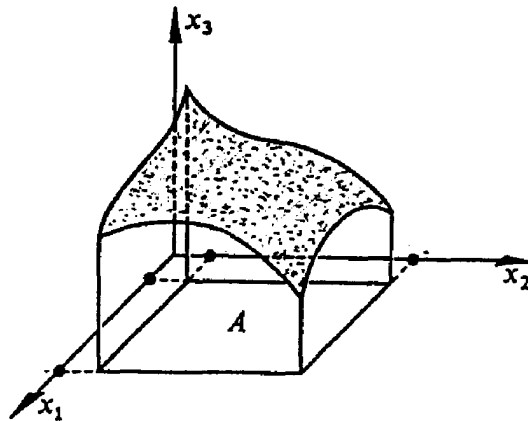
Fast keinen Aufwand macht schließlich eine metrische Charakterisierung der Flächengröße einer Region: man bestimmt einfach die Anzahl der sie konstituierenden Bildpunkte.

Die in (3.2.3) untersuchten Merkmale Struktur, Signalintensität und Kontur können mit den Möglichkeiten behandelt werden, die auf Tomogrammen angeboten werden: Für sie ist stets eine Grauwertskala vorhanden, die dem Helligkeitwert eines jeden Bildpunktes eine ganze Zahl zuordnet (cf. Fig. 4). Mit diesen Voraussetzungen ist es ein leichtes, die oben genannten Merkmale mit metrischen Ausprägungen zu versehen.

Die 'Schärfe' einer Kontur bestimmt sich e.c. durch Gradientenberechnungen.

Das Merkmal Signalintensität kann man repräsentieren durch Matrizen von Zahlen, die die Grauwerte von Bildpunktbereichen wiedergeben; diese lassen sich leicht operationalisieren.

Wenn man schließlich über dem zweidimensionalen Bildpunktraum eine Grauwertdimension anlegt wie in der folgenden Figur:



A bezeichne die Bildfläche, über x_3 seien die Grauwerte abgetragen.

Fig. 9

kann die Beschreibung der Struktur erfolgen mit den Mitteln analytischer Geometrie.

Bis auf die Merkmale Anzahl und Befallsmuster haben wir nun alle in [15] genannten ärztlichen Kriterien der Bildbewertung erörtert; ersterem haben wir bereits in (3.2.1) Genüge getan, letzteres ist nach den in [15] angegebenen Ausprägungen ein Hybridmerkmal, das Lage- und Formbeschreibungen vermischt (So ist 'bandförmig' in [15] sowohl eine Ausprägung des Merkmals 'Form' als auch des Merkmals 'Befallsmuster'); für eine maschinelle Verarbeitung läßt es sich also auf andere Kriterien zurückführen.

Vergleichen wir nun die Merkmalsausprägungen in der ärztlichen Beobachtungssprache und in der maschinellen Bildverarbeitung, so erhalten wir:

Merkmale		Ausprägung in der ärztlichen Beobachtungssprache	Ausprägung in der masch. Bildverarbeitung
Struktur	(1)	naive Ausprägung ('homogen')	Beschreibung durch analytische Geometrie
Signalintensität	(2)	naive Ausprägung ('hell' - 'dunkel')	metrische Skala
Form	(3)	umgangssprachlich	analytische Beschreibung
Kontur	(4)	naive Ausprägung ('scharf' - 'unscharf')	metrische Skala
anatomische Lage	(5)	Bezeichnung durch nomina anatomica und umgangssprach- liche Ortsbeschreibungen	Koordinaten und relationale Beschreibung
Befallsmuster	(6)	umgangssprachlich	-
Anzahl	(7)	metrische Begriffsbildung	metrische Begriffsbildung
Größe	(8)	metrische Begriffsbildung	metrische Begriffsbildung

Fig. 10

Damit ist eine vollständige Explikation vollzogen, die auf klassifikatorische und komparative Begriffe ganz verzichten kann.

Anmerkungen:

Anm.1: Die Art der Krankheit "schlägt sich in einem Organ nieder, welches dann den Symptomen als Träger dient" ([4],p.29); die Konfiguration einer Art bekommt im Individuum einen Ort, wobei durch sympathetische Vorgänge zwischen Lokalization und Konfiguration ein 'Spiel' ermöglicht wird (cf.[4],p.27).

Anm.2: Der Text enthält keine statistischen Analysen.

Anm.3: Im Text heißen diese häufig 'MS-Herde' oder 'MS-Läsionen'.

Anm.4: Diese Kriterien werden in [15] selbst genannt; die Autoren führen die Kategorien der von ihnen 'als methodisch akzeptierbar' angesehen sprachlichen Codierung optischer Eindrücke wie folgt ein:

"Die Bewertung der signaldifferenten Herdbefunde im magnetischen Resonanztomogramm erfolgte nach folgenden Kriterien:

1. Morphologie und Signalverhalten der einzelnen Läsion: Die morphologische Wertung umfaßt die Kriterien Struktur, Form, Kontur sowie Signalintensität der Läsion im Vergleich zum umgebenden gesunden Hirngewebe (in Abhängigkeit der gewählten Sequenz).

2. Anzahl, Größe und räumliche Verteilung der Läsionen: Entsprechend der visuellen Auswertung der Tomogramme wurden die signaldifferenten Herde in die Kategorien "große", "sichere" und "fragliche" Läsionen eingestuft. Durch den Vergleich der Läsionen mit dem im Tomogramm mitdargestellten Meßstab wurde eine approximative Größenbeurteilung der Herde vorgenommen (Herde mit 7 mm und größerem Durchmesser = "große Läsion", Herde zwischen 3-7 mm Durchmesser ="sichere Läsion", Herde kleiner als 3 mm Durchmesser = "fragliche Läsion")" ([15], p.488).

Anm.5: Die zur Beschreibung der anatomischen Lage eingeführten Ortsbeschreibungen wie "weit ... hineinreichend", "ringförmig ... positioniert", "in unmittelbarer Nachbarschaft", etc. ([15],p.489ff) untersuchen wir im folgenden nicht; wir bezeichnen sie als umgangssprachlich.

- Anm.6: Die Prädizierungen werden im folgenden stets im Nominativ angegeben.
- Anm.7: Wir sehen hier die Einführung eines einen Vergleich benutzenden Gestaltnamens, dessen Vergleichspunkt aus dem Alltag genommen wird - ein in der terminologischen Arbeit in der Medizin üblicher Vorgang in dessen Tradition die vorliegende Arbeit steht. Die Entwicklung etwa von Knochennamen zeigt "eine Vielzahl von Vergleichen mit verschiedenen bekannten Gestalten: mit dem Schnabel eines Vogels, einem Pflug, einem Sieb, einem Hammer, einem Schwert.... Diese Vergleiche haben sich in den Namen erhalten: Rabenschnabelfortsatz, Siebbein, Pflugscharbein, usw.. Oft wurden mehrere Ähnlichkeiten angegeben und wir finden einen längeren Streit darüber, welche Gestalt der Form des angegebenen Organs mehr entspricht ([3],p.160).
- Anm.8: Wir setzen für das Folgende voraus, daß jede anatomische Region sich als Vereinigung der abgebildeten Segmente darstellen läßt.
- Anm.9: Dessen Definition setzt Kenntnisse über die Bildgebung voraus, die wir hier nicht einführen möchten.

Literaturverzeichnis

- [1] Brant-Zawadzki, M.: Nuclear magnetic resonance imaging: The abnormal brain and spinal cord. In: T.H. Newton, D.G. Potts (eds.). Modern Neuroradiology, Vol.2 (Advanced Imaging Techniques) Clavadel Press, San Anselmo CA 1983.
- [2] Brownell, B., Hughes, J.T.: The distribution of plaques in the cerebrum in multiple sclerosis. J. Neurol. Neurosurg. Psychiatr. 25 (1962) 315-320.
- [3] Fleck, L.: Erfahrung und Tatsache, Ffm. 1983.
- [4] Foucault, M.: Die Geburt der Klinik, hrsg. von Wolf Lepenies und Henning Ritter, Ffm., Berlin, Wien: Ullstein 1976.
- [5] Haberäcker, P.: Digitale Bildverarbeitung, Grundlagen und Anwendungen, München, Wien 1985.
- [6] Hempel, C.G.: Grundzüge der Begriffsbildung in der emp. Wissenschaft, Düsseldorf 1974.
- [7] Hempel, C.G.: Studies in the Logic of Explanation, Philosophy of Science, XV (1948), p.135ff.
- [8] Johnson, M.A., Li D.K.B., Bryant, D.J., Payne, J.A.: Magnetic resonance imaging: serial observations in multiple sclerosis. AJNR 1984; 5:495-499.
- [9] Keeler, E.K., Coyle, P.K.: Contrast enhancement in NMR imaging by selection of radiofrequency pulse sequence and time: examples in demyelinating disease. Physio. Chem. Phys. 15 (1983) 235-237.
- [10] Lukes, S.A., Crooks, L.E., Aminoff, M.J., Kaufmann, L., Panitch, H.S., Mills, C., Norman, D.: Nuclear magnetic resonance imaging in multiple sclerosis. Ann. Neurol. 13 (1983) 592-601.
- [11] Nelson, M.J.S., Miller, S.L., McLain Jr. L.W., Gold, L.H.A.: Multiple sclerosis: large plaque causing mass effect and ring sign. J. Comput. Assist. Tomogr. 5 (1981) 892-894.
- [12] Rindfleisch, E.: Histologisches Detail zu der grauen Degeneration von Gehirn und Rückenmark (Zugleich ein Beitrag zu der Lehre von der Entstehung und Verwandlung der Zelle). Virchows Arch. path. Anatomie, 26, 1863, p.474ff.
- [13] Runge, V.M.A., Price, A.C., Kirshner, H.S., Allen, J.H., Partain, C.L., James A.E.: The evaluation of multiples sclerosis by magnetic resonance imaging, Amer. J. Roentgenol. (in Druck).
- [14] Russell, B.: Principles of Mathematics, New York² 1938.
- [15] Schörner, W., Möhler, D., Baum, K., Girke, W., Weiss. Th., Felix, R.: Das Erscheinungsbild der multiplen Sklerose im magnetischen Resonanztomogramm. Fortschr. Röntgenstr. 142, 5C (1985), p.487-494.

- [16] Sheldon, J.J.: MR Imaging of Multiple Sclerosis: Comparison with Clinical and CT Examinations in 74 Patients, AJR145, p.957ff, Nov. 1985.
- [17] Sommerhoff, G.: Analytical Biology, London 1950.
- [18] Stiehl, H.S.: Automatische Verarbeitung und Analyse von kranialen Computertomogrammen, TU Berlin, 1980.
- [19] Young, I.R., Randell, C.P., Kaplan, P.W., James, A., Bydder, G.M., Steiner, R.E.: Nuclear magnetic resonance (NMR) imaging in white matter disease of the brain using spin-echo sequences. Comput. Assist. Tomogr. 7 (1983) 290-294.